

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160485

# 我国主产棉区棉花纤维品质性状的区域分布特征<sup>\*</sup>

许乃银 李 健

(江苏省农业科学院经济作物研究所/农业部长江下游棉花和油菜重点实验室 南京 210014)

**摘要** 我国主产棉区及其亚区的棉纤维品质区域特征明显,适时评价各棉区的纤维品质发展现状有助于稳定优势棉花产区和促进特色棉花产区的发展。本研究采用 GGE 双标图分析了 2011—2015 年全国棉花品种区域试验中各亚区环境与纤维品质性状的互作模式,分析比较了各主产棉区和亚区的纤维品质特征。结果表明:1)在主产棉区尺度上,长江流域棉区纤维长度和比强度最好,并且都达到了国家棉花品种审定的 II 级标准,而马克隆值和纺纱均匀性指数居中;黄河流域棉区的纤维长度和比强度较好,但马克隆值偏高;西北内陆棉区的马克隆值和纺纱均匀性指数表现最好,纤维长度和马克隆值达到了国家棉花品种审定的 II 级标准,但比强度在三大棉区中表现最差。2)在棉花亚区尺度上,纤维长度表现以长江下游和长江上游亚区为最好,黄土高原亚区稍差,其余亚区表现较好;比强度表现以长江下游、长江中游、淮北平原、南襄盆地和黄土高原最好,而南疆棉区、长江上游和北疆棉区比强度稍差;马克隆值以北疆棉区、南疆棉区和长江上游表现最好,而黄土高原、淮北平原、长江中游和华北平原的马克隆值偏高。3)在纤维品质的综合表现上,北疆棉区、长江下游、长江上游和南疆棉区的纤维品质综合表现最好,淮北平原、长江中游和南襄盆地次之,华北平原和黄土高原稍差。本研究展示了 GGE 双标图的“环境-性状”功能图在纤维品质区域特征评价方面的应用效果,可为我国棉花优势产区发展和棉纺企业合理用棉提供理论依据,也对全国棉花纤维品质生态区划分具有指导意义。

**关键词** 棉花(*Gossypium hirsutum* L.) GGE 双标图 纤维品质 主产棉区 区域试验 环境与性状互作

中图分类号: S562.03 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2016)11-1547-08

## Regional distribution characteristics of cotton fiber quality in main cotton production areas in China<sup>\*</sup>

XU Naiyin, LI Jian

(Key Laboratory of Cotton and Rapeseed, Ministry of Agriculture / Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract** The significant regional differences in cotton fiber characteristics have been well recognized in not only traditional main cotton production areas, but also in the corresponding subregions in China. The evaluation of cotton fiber quality characteristics in each cotton production region is obviously beneficial for understanding current developing conditions of cotton fiber quality. This can contribute to the intensification of superior cotton production areas and the development of cotton production areas with special fiber quality characteristics. The GGE biplot experimental design was used to explore the interaction pattern between subregional environments of cotton and cotton fiber quality traits in three main cotton production areas (Changjiang River Valley, Huanghe River Valley and Northwest Inland) and their subregions. Data for the study were collected from the national cotton regional trials during the period 2011–2015. The results indicated that: 1) at main cotton production area scale, fiber length and strength in Changjiang River Valley (CRV) performed the best in the three main cotton production areas. Although all of these areas reached the Class II level of national cotton variety registration standard, there

\* 国家转基因生物新品种培育重大专项(2012ZX08013015)和国家农作物品种区域试验专项(012022911108)资助

许乃银,主要从事棉花区域试验和生态适应性模型研究。E-mail: naiyin@126.com

收稿日期: 2016-05-30 接受日期: 2016-06-28

\* This research was supported by the National Transgenic Project of China (2012ZX08013015) and the Project from National Extension and Service Center of Agricultural Technology (012022911108).

Corresponding author, XU Naiyin, E-mail: naiyin@126.com

Received May 30, 2016; accepted Jun. 28, 2016

were medium performances for micronaire value and spinning consistency index. Fiber length and strength for the Huanghe River Valley (HRV) were better, while micronaire value was higher than desirable. On the other hand, micronaire value and spinning consistency index were best for the Northwest Inland cotton production area. Both fiber length and micronaire value reached Class II level of national cotton variety registration standard, although fiber strength was the lowest in the three main cotton production areas. 2) For subregions within three main cotton production areas, fiber length was the highest in the lower and upper reaches of CRV, slightly poor in the Loess Plateau region and relatively good in other subregions. Strength performed well in the middle and lower reaches of CRV, Huaibei Plain, Nanxiang Basin and the Loess Plateau. It was relatively poor in the upper reaches of CRV and the Northwest Inland regions. Conversely, micronaire value performed ideally in the upper reaches of CRV and the Northwest Inland regions, but not so satisfactory in the subregions of the Loess Plateau, Huaibei Plain, North China Plain and the lower reaches of CRV. 3) For comprehensive fiber quality trait performance, the upper and lower reaches of CRV and the Northwest Inland regions were the most ideal subregions, followed by Huaibei Plain, Nanxiang Basin and the middle reaches of CRV. Then the North China Plain and the Loess Plateau were less satisfactory in terms of comprehensive fiber quality trait performance. This study demonstrated the effectiveness of “environment vs. trait” biplot in evaluating ecological regionalization of cotton fiber quality. It also provided a reference for the prioritization of development of high-quality cotton production areas and raw cotton selection strategy for the textile industry and also set the guidelines for further ecological regionalization of cotton fiber quality in China.

**Keywords** Cotton; GGE biplot; Fiber quality; Main cotton production area; Regional crop trial; Environment by trait interaction

我国棉花适宜种植区域广阔,自然生态环境复杂多样,全国棉花产区依据地理和气候因素划分为华南棉区、长江流域棉区、黄河流域棉区、辽河流域棉区和西北内陆棉区等五大棉区,其中长江流域棉区、黄河流域棉区和西北内陆棉区为目前的三大主产棉区,各主产棉区又可划分出不同的亚区<sup>[1]</sup>。棉花纤维品质的生长发育受生态环境因子的显著影响<sup>[2-4]</sup>,并存在着显著的基因型与环境互作效应<sup>[5-6]</sup>,各棉区的纤维品质指标的区域化分布特征明显<sup>[7-9]</sup>。研究各主产棉区及其亚区的棉纤维区域特征,有利于增强目标区域内棉花纤维品质的改良和区域化栽培的针对性<sup>[10]</sup>,从而提高我国原棉适纺性能和国际市场竞争力<sup>[11-12]</sup>。在不同历史时期,都有针对主产棉区纤维品质区域特征的研究报道<sup>[7-9,13-17]</sup>,但尚缺乏对“十二五”期间三大主产棉区纤维品质发展现状和不同棉区的亚区间纤维品质横向比较的研究报道。本研究分析了三大主产棉区纤维品质区域特征的新进展,并采用GGE双标图的“环境-性状”功能图<sup>[18-22]</sup>,探索了2011—2015年期间我国棉花品种区域试验中各生态亚区和纤维品质指标的互作模式及各亚区纤维品质的区域特征,为确定棉花优势产区和促进特色棉花生产提供科学依据和决策支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

数据来源于2011—2015年期间三大主产棉区国家级棉花区域试验的纤维品质资料。长江流域、黄河流域和西北内陆棉区国家棉花区域试验设置的试

验组数、参试品种数、试点数详见表1。各试点的田间试验统一采用随机区组设计,小区面积20 m<sup>2</sup>,重复3次。各试点除了按国家区试方案要求进行产量性状、农艺性状和抗病性等性状调查记载外,在棉铃吐絮盛期选取棉株中部果枝吐絮正常的50个棉铃,晒干、考种、轧花后的皮棉作为纤维品质的测试样品,由农业部棉花品质监督检验测试中心检测。检测性状包括纤维长度、整齐度、比强度、伸长率、马克隆值、反射率、黄度、纺纱均匀性指数等纤维品质指标。试验田的栽培方式、种植密度、施肥、病虫草害防治等田间管理措施按照当年当地中高产田的管理方式实施。本研究采用三大主产棉区国家级棉花区域试验的46组试验(含755个单点试验)的纤维品质数据,分析三大主产棉区及其亚区的纤维品质区域分布特征。

### 1.2 棉区划分方法

我国目前的三大主产棉区分别为长江流域棉区、黄河流域棉区和西北内陆棉区,各主产棉区又划分出不同的亚区<sup>[1]</sup>。本研究根据国家棉花区域试验组别设置及试点分布和各主产棉区的传统分区情况,统计分析了长江流域棉区的长江上游、中游、下游和南襄盆地亚区,黄河流域棉区的淮北平原、华北平原和黄土高原亚区,西北内陆棉区的南疆和北疆亚区<sup>[1]</sup>的纤维品质数据,各亚区的代码及其涵盖的主要地理区域详见表2。

### 1.3 统计分析方法

首先,采用“环境-性状”GGE双标图(即ET双标图,下同)的“适宜环境与性状组合”功能图<sup>[13,18-19,23]</sup>

表 1 2011—2015 年我国三大主产棉区棉花品种区域试验组数、品种数和试点数统计表

Table 1 Summary statistics of numbers of trial group, tested cultivars and locations of the regional cotton variety trials in three main cotton production areas of China from 2011 to 2015

年份 Year	长江流域棉区 Changjiang River Valley				黄河流域棉区 Huanghe River Valley				西北内陆棉区 Northwest Inland			
	组数 Group	品种 Cultivar	试点 Site	组数 Group	品种 Cultivar	试点 Site	组数 Group	品种 Cultivar	试点 Site	组数 Group	品种 Cultivar	试点 Site
2011	4	36	72	4	38	76	2	13	14			
2012	4	38	72	3	30	54	2	24	14			
2013	4	32	76	4	37	73	2	25	15			
2014	3	24	57	4	32	80	2	27	18			
2015	3	21	56	3	24	60	2	12	18			
合计 Total	18	151	333	18	161	343	10	101	79			

表中列出了 2011—2015 年期间黄河流域棉区中熟常规棉和中熟杂交棉组、长江流域棉区中熟棉组和西北内陆棉区的早熟组与早中熟组国家棉花区域试验情况。Trials groups include the mid-maturing conventional, the mid-maturing hybrid in the cotton region of Huanghe River Valley, the mid-maturing in the cotton region of Changjiang River Valley, and the early-maturing and the early-medium maturing in the cotton region of Northwest Inland regions.

表 2 我国主产棉区和亚区的划分及其涵盖的主要地理区域<sup>[1]</sup>

Table 2 Division and major geographic areas coverage of main cotton production areas and subregions in China

棉花主产区 Main cotton production area	亚区 Subregion	代码 Code	各亚区涵盖的主要地理区域 Main geographic areas of each subregion
长江流域棉区 Changjiang River Valley (CJ)	长江上游 Upper reaches of CJ	CJ1	四川盆地丘陵地带 Hilly land in Sichuan Basin
	长江中游 Middle reaches of CJ	CJ2	湖北(除襄阳)、湖南和江西北部、安徽淮河以南 Hubei (except Xiangyang City), Northern Hunan and Jiangxi, South of the Huaihe River in Anhui
	长江下游 Lower reaches of CJ	CJ3	江苏淮河以南、浙江沿海 South of the Huaihe River in Jiangsu and the coastal region in Zhejiang
	南襄盆地 Nanxiang Basin	CJ4	湖北襄阳和河南南阳 Xiangyang of Hubei and Nanyang of Henan
黄河流域棉区 Huanghe River Valley (HH)	淮北平原 Huabei Plain	HH1	江苏和安徽淮河以北、河南东部及东南部 Jiangsu and Anhui淮河以北, Eastern and Southeast of Henan
	华北平原 North China Plain	HH2	河北、天津、山东 North of the Huaihe River in Jiangsu and Anhui, Eastern and Southeast of Henan
	黄土高原 Loess Plateau	HH3	河南北部、山西南部、陕西关中 Northern Henan, Hebei, Shandong, Tanjin
西北内陆棉区 Northwest Inland (NW)	北疆棉区 Northern Xinjiang	NW1	河南西部、山西南部、陕西关中 West of Henan, South of Shanxi, and Guanzhong region of Shaanxi
	南疆棉区 Southern Xinjiang	NW2	天山北坡的准噶尔盆地西南部及甘肃河西走廊 Tianshan North Slope of the Junggar Basin and Hexi Corridor in Gansu
			天山以南的塔里木盆地周缘 Around Tarim Basin to the south of Tianshan Mountains.

CJ、HH 和 NW 分别为长江流域、黄河流域和西北内陆棉区的代码。CJ, HH and NW are the codes of the cotton production areas of Changjiang River Valley, Huanghe River Valley and the Northwest Inland, respectively.

方法, 依据 2011—2015 年期间全国棉花区域试验中纤维品质性状在各主产棉区及亚区中的综合表现, 分析纤维品质性状与棉区和亚区间的互作模式。在 ET 双标图的“适宜环境与性状组合”功能图中, 将位于最外围的环境(即亚区, 下同)图标依次连接形成一个多边形, 就可以将所有环境图标包围在多边形内; 从双标图的原点作多边形各边的垂线, 将多边形划分为不同的扇区, 在同一扇区内的性状即构成了一个性状组合; 每个扇区中位于多边形角顶上的环境就是在该扇区内各性状上表现最好的环境, 称为“胜出环境”, 也就是该性状组合都表现最好的环境<sup>[23]</sup>。其次, 采用 ET 双标图的“排序”功能图<sup>[13,23–24]</sup>分别依据纤维长度、比强度、马克隆值和纺纱均匀性指数等主要指标对各亚区的表现进行优劣比较和排序。ET 双标

图的“排序”功能图中, 以目标性状为圆心作若干个同心圆以便于直观比较和筛选各亚区表现的相对优劣, 各亚区与目标性状在双标图中的相对距离表示亚区表现相对优劣, 距离越近则表示性状在该亚区的表现越好<sup>[18,25]</sup>。最后, 采用 DPS<sup>®</sup>数据处理系统对三大主产棉区间及亚区间的主要纤维品质性状的差异进行方差分析和多重比较(LSD 法)<sup>[26]</sup>, 以分析纤维品质性状的区域特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 我国三大主产棉区的棉花纤维品质特征分析

我国三大棉区的纤维品质指标平均值和差异显著性检测结果表明(表3), 纤维品质指标在三大棉区间差异都达到显著水平, 具体表现为: 1) 长江流域棉

表 3 2011—2015 年我国主产棉区棉纤维品质的区域特征  
Table 3 Cotton fiber quality characteristics of the main cotton production areas in China in 2011—2015

性状 Character	长江流域棉区	黄河流域棉区	西北内陆棉区
	Changjiang River Valley	Huanghe River Valley	Northwest Inland
纤维长度 Fiber length (mm)	29.721±0.11a	29.194±0.11b	29.667±0.10a
比强度 Fiber strength (cN·tex <sup>-1</sup> )	30.559±0.14a	30.086±0.13b	29.280±0.14c
马克隆值 Micronaire value	5.221±0.03a	5.303±0.03a	4.485±0.04b
伸长率 Elongation (%)	5.674±0.08c	5.926±0.07b	6.583±0.06a
反射率 Reflectance (%)	78.136±0.19b	75.795±0.31c	78.958±0.28a
黄度 Yellowness	7.783±0.05ab	7.954±0.08a	7.708±0.06b
整齐度 Uniformity index (%)	85.388±0.07a	84.898±0.12b	85.040±0.14b
纺纱均匀指数 Spinning consistency index	143.043±0.79b	137.838±0.96c	146.668±1.06a

数据为相应主产棉区各性状的平均值±标准误。下同。同行不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。The mean ± SE stands for the mean of each fiber quality character in the corresponding cotton production area and its standard error. The same below. Values followed by different letters in the horizontal rows are significantly different at 5% probability level.

区的纤维长度、比强度和整齐度最高, 马克隆值较高, 伸长率最差, 其中: 纤维长度显著高于黄河流域棉区, 与西北内陆棉区差异不显著; 比强度和整齐度显著高于黄河流域和西北内陆棉区; 马克隆值略低于黄河流域棉区, 而显著高于西北内陆棉区; 伸长率显著低于其他两个棉区。2)黄河流域棉区的纤维长度、马克隆值、反射率、黄度和纺纱均匀性指数表现均列末位, 比强度表现居中, 其中: 纤维长度、反射率和纺纱均匀性指数都显著低于长江流域和西北内陆棉区; 比强度显著低于长江流域棉区, 显著高于西北内陆棉区; 马克隆值和黄度与长江流域棉区差异不显著, 但均显著差于西北内陆棉区。3)西北内陆棉区的马克隆值、伸长率、反射率、黄度和纺纱均匀性指数均表现最好, 纤维长度表现居中, 比强度表现最差, 其中: 马克隆值、反射率、伸长率和纺纱均匀性指数均显著优于长江流域和黄河流域棉区; 黄度显著优于黄河流域, 与长江流域差异不显著; 比强度显著低于长江流域和黄河流域棉区; 纤维长度略低于长江流域, 而显著高于黄河流域。总体而言, 西北内陆棉区棉纤维品质综合性状最优、长江流域棉区次之、黄河流域再次之。同时, 各棉区的纤维品质性状又各具特色, 其中, 长江流域棉区纤维长度和比强度最好、马克隆值和纺纱均匀性指数居中; 长江流域和黄河流域棉区的纤维长度和比强度都达到了国家棉花品种审定的 级标准,

但马克隆值仅为 级标准; 西北内陆棉区的马克隆值和纺纱均匀性指数最好、纤维长度居中、比强度表现最差, 纤维长度和马克隆值达到国家棉花品种审定的 级标准, 但比强度仅为 级标准。

## 2.2 我国主产棉区各亚区与棉花纤维品质性状的互作关系

2011—2015 年全国棉花区域试验纤维品质性状 GGE 双标图的“环境—性状”功能图分析表明(图 1), 我国三大棉区的 9 个生态亚区与纤维品质性状的关系可划分为 5 个“性状与环境”组合: 1)长江下游亚区为代表的扇区中, 纤维长度和整齐度表现最好; 2)以长江中游为代表的扇区中, 纤维比强度最高; 3)以黄土高原亚区为代表的扇区中, 马克隆值和黄度数值最高; 4)以南疆棉区为代表的棉区中伸长率最长, 马克隆值低; 5)以北疆棉区为代表的棉区中纤维纺纱均匀指数和反射率最高。可见, 我国三大棉区的亚区与纤维品质性状存在明显的互作关系, 同一棉区各亚区的纤维品质表现仍存在显著差异, 不同棉区的亚区间品质表现存在区域重叠现象。其中, 长江流域棉区的长江上游和下游的纤维长度、整齐度表现最好; 长江中游和南襄盆地与黄河流域的淮北平

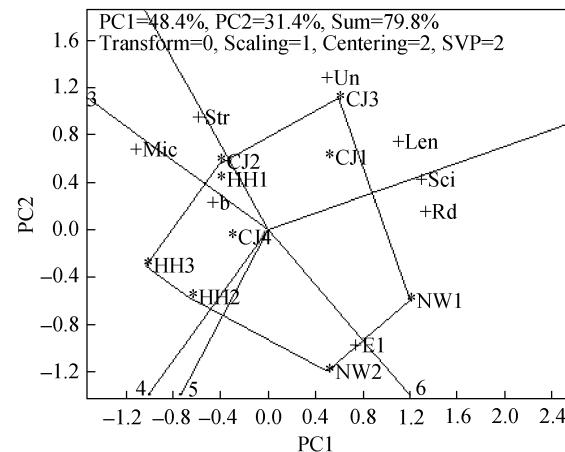


图 1 2011—2015 年全国主产棉区各亚区与纤维品质互作 GGE 双标图的“适宜环境与性状组合”功能图

Fig. 1 “Which-won-where” view of GGE biplot showing the interaction pattern between cotton production subregions and fiber quality characters in the main cotton production areas in China from 2011 to 2015

图中带“+”号的 Len、Str、Mic、El、Rd、b、Un 和 Sci 分别表示纤维长度、比强度、马克隆值、伸长率、反射率、黄度、整齐度和纺纱均匀指数。带“\*”的 CJ1、CJ2、CJ3、CJ4、HH1、HH2、HH3、NW1 和 NW2 为生态亚区代码, 各亚区的全称详见表 2。下同。Len, Str, Mic, El, Rd, b, Un and Sci prefixed with plus sign (+) stand for fiber length, fiber strength, micronaire value, elongation, reflectance, yellowness, uniformity index and spinning consistency index, respectively. CJ1, CJ2, CJ3, CJ4, HH1, HH2, HH3, NW1 and NW2 prefixed with asterisk (\*) are subregion codes, see the table 2 for detailed subregion names. The same below.

原亚区品质表现类似, 比强度和马克隆值较高; 黄河流域棉区的华北平原和黄土高原亚区的马克隆值较高; 西北内陆棉区的北疆早熟亚区和南疆早中熟亚区的纤维品质表现也存在差异。因此, 传统的三大棉区与棉纤维品质性状的表现并不完全相符, 需要进一步分析各生态亚区的纤维品质特征。

### 2.3 棉纤维主要品质性状在各生态亚区环境中的分布

基于生态亚区与品质性状互作的 GGE 双标图中, 以主要品质性状(纤维长度、比强度、马克隆值和纺纱均匀性指数)为圆心的同心圆可以直观地展示品质性状对主产棉区及其亚区环境的响应。某亚区图标到圆心的距离越近, 表示性状在该亚区中的表型值越大, 反之亦然。图 2 表明, 纤维长度在各生态亚区中的表现为(图 2a): 长江上游和下游棉区表现最好, 西北内陆的北疆亚区、黄河流域的淮北平原原亚区、长江中游及南襄盆地亚区次之, 西北内陆

的南疆棉区、黄河流域的华北平原和黄土高原亚区再次之。纤维比强度表现为(图 2b): 长江中游和黄河流域淮北平原棉区最强, 西北内陆棉区最差, 其余亚区表现居中。马克隆值表现为(图 2c): 西北内陆棉区表现最好, 长江上游和下游棉区表现较好, 南襄盆地和华北平原表现一般, 长江中游、淮北平原和黄土高原棉区表现稍差。纺纱均匀性指数表现为(图 2d): 长江上游和下游亚区及西北内陆的北疆亚区表现最好, 黄河流域的淮北平原亚区、长江中游及南襄盆地亚区、西北内陆的南疆棉区较好, 黄河流域的华北平原和黄土高原亚区表现稍差。

### 2.4 我国主产棉区各生态亚区的纤维主要品质性状特征

各生态亚区的纤维品质指标平均值和差异显著性检测结果表明(表4), 纤维品质指标在生态亚区间差异均达5%的显著水平。具体表现为: 1)纤维长度以长江下游和长江上游最好, 其平均值都在30 mm以

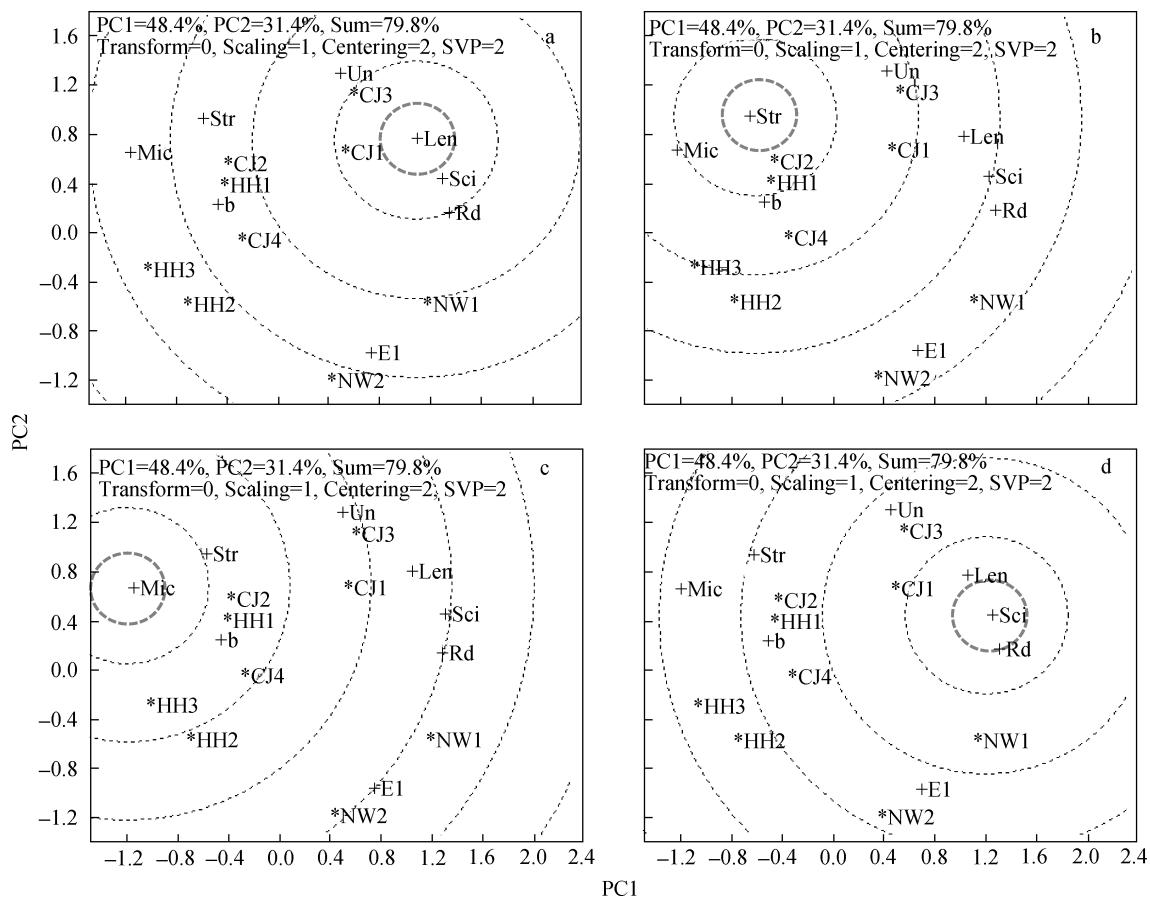


图 2 2011—2015 年全国主产棉区各亚区基于纤维长度(a)、比强度(b)、马克隆值(c)和纺纱均匀性指数(d)的 GGE 双标图“亚区排序”功能图

Fig. 2 “Ranking sub-regions” view of GGE biplot referring to fiber length (a), strength (b), micronaire value (c) and spinning consistency index (d) in the main cotton production areas in China from 2011 to 2015

图中虚线为以纤维长度(a)、比强度(b)、马克隆值(c)和纺纱均匀性指数(d)图标为圆心的同心圆, 辅助比较各亚区图标到圆心的距离。The dotted lines are concentric circles with the center of fiber length (a), strength (b), micronaire value (c) and spinning consistency index (d) respectively for convenient comparison the distance between subregion marks to the center.

表 4 2011—2015 年我国主产棉区各亚区的棉纤维品质特征

Table 4 Cotton fiber quality characteristics of subregions within the main cotton production areas in China in 2011–2015

棉花生态亚区 Cotton ecological subregion	代码 Code	纤维长度 Fiber length (mm)	比强度 Strength (cN·tex <sup>-1</sup> )	马克隆值 Micronaire	纺纱均匀指数 SCI Spinning consistency index
长江上游 Upper reaches of CJ	CJ1	30.195±0.20ab	29.425±0.33bcd	4.898±0.07d	145.747±1.75abc
长江中游 Middle reaches of CJ	CJ2	29.389±0.16cd	30.721±0.19a	5.347±0.03a	140.819±1.21c
长江下游 Lower reaches of CJ	CJ3	30.506±0.21a	30.761±0.31a	5.121±0.07bc	148.240±1.04ab
南襄盆地 Nanxiang Basin	CJ4	29.372±0.18cd	30.192±0.34ab	5.024±0.10cd	140.804±1.34cd
淮北平原 Huabei Plain	HH1	29.547±0.28cd	30.557±0.31a	5.372±0.06a	141.759±2.56c
华北平原 North China Plain	HH2	29.160±0.09de	29.881±0.16bc	5.255±0.04ab	136.585±0.96d
黄土高原 Loess Plateau	HH3	28.757±0.34e	30.110±0.29ab	5.377±0.10a	136.329±2.64d
北疆棉区 Northern Xinjiang	NW1	29.792±0.14abc	29.586±0.21bcd	4.370±0.06f	150.896±1.46a
南疆棉区 Southern Xinjiang	NW2	29.548±0.13bcd	28.989±0.17d	4.593±0.04e	142.651±1.25bc

同列不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。Values followed by different letters in the same column are significantly different at 5% probability level.

上, 与北疆棉区以外的其余棉区差异显著; 黄土高原亚区的纤维长度未达 29 mm, 与华北平原差异不显著, 与其余亚区差异均达显著水平; 南疆棉区、淮北平原、长江中游、南襄盆地和华北平原亚区的纤维长度介于 29~30 mm, 表现较好。纤维长度的长短次序为长江下游>长江上游>北疆棉区>南疆棉区>淮北平原>长江中游>南襄盆地>华北平原>黄土高原。2)长江下游、长江中游、淮北平原、南襄盆地和黄土高原的比强度都在 30 cN·tex<sup>-1</sup> 以上, 达到了国家棉花品种审定的 1 级标准; 长江下游、长江中游和淮北平原的比强度显著高于南襄盆地和黄土高原亚区以外的棉区; 南疆棉区、长江上游和北疆棉区比强度稍差, 但也都在 28 cN·tex<sup>-1</sup> 以上, 达到国家 1 级标准。比强度的强弱次序为长江下游>长江中游>淮北平原>南襄盆地>黄土高原>华北平原>北疆棉区>长江上游>南疆棉区。3)北疆棉区、南疆棉区和长江上游的马克隆值低于 5.0, 达到 2 级标准, 并与南襄盆地以外的各亚区差异显著; 黄土高原、淮北平原、长江中游和华北平原的马克隆值较高, 相互间差异不显著, 而显著高于长江下游以外的各亚区。马克隆值的优劣次序为北疆棉区>南疆棉区>长江上游>南襄盆地>长江下游>华北平原>长江中游>淮北平原>黄土高原。4)北疆棉区、长江下游和长江上游的纺纱均匀性指数显著高于华北平原和黄土高原, 其余亚区为中等水平。纺纱均匀性指数的高低次序为北疆棉区>长江下游>长江上游>南疆棉区>淮北平原>长江中游>南襄盆地>华北平原>黄土高原。总体而言, 纤维长度虽有优劣, 但除黄土高原亚区外, 各亚区都达国家棉花品种审定的 1 级标准; 比强度与马克隆值之间存在不理想的正相关, 北疆棉区、南疆棉区和长江上游的马克隆值低于 5.0, 但

比强度都低于 30 cN·tex<sup>-1</sup>; 北疆棉区、长江下游、长江上游和南疆棉区的纤维品质综合表现最好, 淮北平原、长江中游和南襄盆地较好, 但华北平原和黄土高原稍差。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 我国三大主产棉区纤维品质的区域特征探讨

长江流域棉区、黄河流域棉区和西北内陆棉区为我国三大主产棉区<sup>[1]</sup>, 各主产棉区之间气候生态环境和栽培管理条件差异悬殊<sup>[14]</sup>, 由于棉花纤维品质的生长发育受生态环境因子的显著影响<sup>[27]</sup>, 并与环境因子之间存在着显著的基因型与环境互作效应<sup>[5]</sup>, 因此, 各棉区纤维品质性状也存在着显著差异和明显的区域特征<sup>[7~9]</sup>。马淑萍等<sup>[28]</sup>对 1998—2001 年全国棉纤维抽样检测结果分析指出, 长江棉区棉纤维各品质指标比较协调; 黄河流域长、强、细搭配相对合理, 但马克隆值偏高; 西北内陆棉区纤维色泽好、长度中等、马克隆值好, 但比强度偏低。唐淑荣等<sup>[29]</sup>对“十五”期间我国主产棉省主栽品种纤维抽查结果分析认为, 长江流域棉区棉花纤维在长度、整齐度、比强度等指标上优于其他棉区, 但马克隆值偏高; 西北内陆棉区的马克隆值和色泽特征好, 但比强度低; 黄河流域棉区主要纤维品质性状表现处于其他两棉区之间。熊宗伟等<sup>[14]</sup>对 2005—2011 年全国各省市棉花纤维样品的抽样调查研究指出, 西北内陆棉区纤维长度、马克隆值、品级等指标均表现最优; 长江和黄河流域两大棉区的比强度较高, 长江流域的纤维长度和比强度均高于黄河流域; 黄河流域的马克隆值最高。由于棉花纤维品质与各棉区气候生态因子的变化密切相关, 存在着明显的时空分布动态, 前人的研究结果在一

定程度上反映了不同历史时期我国主产棉区的纤维品质特征, 但无法体现当前我国各主产棉区的纤维品质特征特性与发展趋势。本研究采用我国三大棉区国家级棉花品种区域试验的纤维品质数据进行品质区域特征分析, 数据的代表性和可靠性更强。结果表明, 近年来长江流域棉区纤维长度和比强度最好, 并且均达到国家棉花品种审定的一级标准, 而马克隆值和纺纱均匀性指数居中; 黄河流域棉区的纤维长度和比强度较好, 但马克隆值偏高; 西北内陆棉区的马克隆值和纺纱均匀性指数表现最好, 纤维长度和马克隆值达到国家棉花品种审定的一级标准, 但比强度在三大棉区中表现最差。本研究结果与前人的研究略有差异, 但由于分析数据源自“十二五”期间全国三大主产棉区的棉花区域试验中参试品种纤维品质检测的最新数据, 故分析结果更能体现我国各棉区纤维品质的现状与变化趋势。

### 3.2 我国主产棉区亚区间纤维品质区域特征分析的意义

依据地理区域把我国各主产棉区划分为不同的亚区, 其中长江流域棉区包括长江上游、中游、下游和南襄盆地亚区, 黄河流域棉区主要包括淮北平原、华北平原和黄土高原亚区, 西北内陆棉区主要包括南疆和北疆亚区<sup>[1]</sup>。由于各亚区间的气候生态环境差异同样对纤维发育产生不同程度的影响<sup>[14,27]</sup>, 各亚区间的纤维品质表现也存在着显著差异<sup>[5,8-9,13]</sup>。朱绍琳等<sup>[30]</sup>研究发现江苏省不同生态地区纤维品质的表现有所不同, 特别是纤维比强度和马克隆值受环境条件的影响最为明显, 江苏省淮北地区纤维品质一般较江淮和沿江棉区差。余隆新等<sup>[17]</sup>研究指出湖北省不同生态区种植相同的棉花品种, 会造成棉纤维品质的明显差异, 纤维品质主要指标的区域分布特征是: 鄂西、鄂南向鄂东、鄂北走向, 其纤维长度变短, 马克隆值增大, 比强度增加。王学德等<sup>[16]</sup>研究认为在浙江省不同生态条件下棉花纤维品质也有明显的差异。付小琼等<sup>[15]</sup>将河南省的棉区划分为豫东、豫东南、豫西南、豫北 4 个分区, 分区间的纤维品质指标存在显著差异, 纤维长度、比强度、马克隆值 3 项指标豫东最优, 豫东南优于豫北。唐淑荣等<sup>[9]</sup>研究了黄河流域棉纤维品质主要指标的区域分布特征, 认为黄河流域棉区大致是沿东南至西北走向, 绒长变短、比强度增加、马克隆值降低。李雪源等<sup>[8]</sup>分析了新疆棉区纤维生态品质分布情况, 认为东疆棉区综合品质最好, 但纤维过粗, 而南、北疆棉区棉纤维品质呈多态性分布。许乃银等<sup>[13]</sup>分析了长江流域棉区的纤维品质生态区特点, 指出四川盆地丘陵

棉区和江苏省沿海棉区较好地协调了马克隆值和其他纤维品质性状的关系, 长江中游棉区马克隆值偏高, 其中湖南省环洞庭湖棉区北部的长度和比强度优势明显, 适于发展特色优质棉花产业。上述研究报道均从不同视角探索了省内或棉区内的纤维品质区域差异和分布特征, 而影响棉纤维生长发育的环境生态因子十分复杂, 基于地理区域划分的棉花生产业区与纤维品质生态区不可能完全重叠, 各亚区间的纤维品质性状表现必然存在不同程度的同质性。因此, 基于亚区水平的棉纤维区域特征分析与比较将更有利于细化纤维品质生态区的划分, 并对稳定和发展棉花优势产区将更具针对性和实用性。目前, 关于跨棉区不同亚区间纤维品质特征的横向比较研究尚鲜见报道。本研究采用 GGE 双标图的“环境-性状”功能图, 探索了 2011—2015 年全国棉花区域试验中的各亚区环境和纤维品质指标之间的互作关系, 直观展示了各亚区对主要品质指标的响应, 并跨棉区对各亚区的纤维品质特征进行了分析比较。结果表明, 纤维长度表现以长江下游和长江上游亚区为最好, 黄土高原亚区稍差, 其余亚区表现较好; 比强度表现以长江下游、长江中游、淮北平原、南襄盆地和黄土高原最好, 而南疆棉区、长江上游和北疆棉区比强度稍差; 马克隆值以北疆棉区、南疆棉区和长江上游表现最好, 而黄土高原、淮北平原、长江中游和华北平原的马克隆值较高; 北疆棉区、长江下游、长江上游和南疆棉区的纤维品质综合表现最好, 淮北平原、长江中游和南襄盆地较好, 华北平原和黄土高原稍差。各生态亚区与纤维品质指标之间的关系直观明确, 地理区域特征明显, 对棉花优势产区发展具有指导意义。

### 参考文献 References

- [1] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2013  
Cotton Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese Cotton Cultivation[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2013
- [2] Smith C W, Braden C A, Hequet E F. Genetic analysis of fiber length uniformity in upland cotton[J]. Crop Science, 2010, 50(2): 567-573
- [3] Read J J, Reddy K R, Jenkins J N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 24(3): 282-290
- [4] 马富裕, 朱艳, 曹卫星, 等. 棉纤维品质指标形成的动态模拟[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 442-448  
Ma F Y, Zhu Y, Cao W X, et al. Modeling fiber quality formation in cotton[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(3):

442-448

[5] 许乃银, 张国伟, 李健, 等. 基于 GGE 双标图和比强度选择的棉花品种生态区划分[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1500-1507  
Xu N Y, Zhang G W, Li J, et al. Investigation of cotton mega-environment based on fiber strength selection and GGE biplot[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(11): 1500-1507

[6] 许乃银, 李健, 张国伟, 等. 基于 GGE 双标图和马克隆值选择的棉花区域试验环境评价[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1241-1248  
Xu N Y, Li J, Zhang G W, et al. Evaluation of regional cotton trial environments based on cotton fiber micronaire selection by using GGE biplot analysis[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(10): 1241-1248

[7] 许乃银, 陈旭升, 狄佳春, 等. 长江流域棉花纤维品质的区域特征研究[J]. 棉花学报, 2003, 15(4): 221-226  
Xu N Y, Chen X S, Di J C, et al. Studies on the regional characteristics of cotton fiber quality in Yangtze Valley[J]. Cotton Science, 2003, 15(4): 221-226

[8] 李雪源, 秦文斌, 孙国清, 等. 新疆棉区纤维品质生态分布研究[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(4): 20-27  
Li X Y, Qin W B, Sun G Q, et al. Study on ecological distribution of Xinjiang cotton fibre quality[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2003, 26(4): 20-27

[9] 唐淑荣, 杨付新, 周关印, 等. 黄河流域棉纤维品质区域分布特征[J]. 中国棉花, 1997, 24(6): 11-12  
Tang S R, Yang F X, Zhou G Y, et al. Regional distribution characteristics of cotton fiber quality in the Yellow River Valley[J]. China Cotton, 1997, 24(6): 11-12

[10] Adugna W, Labuschagne M T. Cluster and canonical variate analyses in multilocation trials of linseed[J]. The Journal of Agricultural Science, 2003, 140(3): 297-304

[11] Long R L, Bange M P, Gordon S G, et al. Fiber quality and textile performance of some Australian cotton genotypes[J]. Crop Science, 2010, 50(4): 1509-1518

[12] Foulk J, Meredith W, McAlister D, et al. Fiber and yarn properties improve with new cotton cultivar[J]. Journal of Cotton Science, 2009, 13(3): 212-220

[13] 许乃银, 李健. 利用 GGE 双标图划分长江流域棉花纤维品质生态区[J]. 作物学报, 2014, 40(5): 891-898  
Xu N Y, Li J. Ecological regionalization of cotton fiber quality based on GGE biplot in Yangtze River valley[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(5): 891-898

[14] 熊宗伟, 顾生浩, 毛丽丽, 等. 中国棉花纤维品质和气候因子的空间分布特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3385-3392  
Xiong Z W, Gu S H, Mao L L, et al. Spatial distribution characteristics of China cotton fiber quality and climatic factors based on GIS[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(12): 3385-3392

[15] 付小琼, 龙腾芳, 刘晓峰, 等. 河南省棉花纤维主要品质指标分析及分区探讨[J]. 棉花学报, 2004, 16(3): 142-146  
Fu X Q, Long T F, Liu X F, et al. Analyses on main indexes of cotton fibre quality and discussion on the sub-regions in Henan Province[J]. Cotton Science, 2004, 16(3): 142-146

[16] 王学德, 俞碧霞, 夏如冰, 等. 浙江棉区棉花纤维品质生态分布的研究[J]. 浙江农业科学, 1994(1): 3-7  
Wang X D, Yu B X, Xia R B, et al. Cotton fiber quality regional distribution characteristics in the cotton planting region in Zhejiang Province[J]. Zhejiang Agriculture Science, 1994(1): 3-7

[17] 余隆新, 唐仕芳, 王少华, 等. 湖北省棉纤维品质生态区划及研究[J]. 棉花学报, 1993, 5(2): 15-20  
Yu L X, Tang S F, Wang S H, et al. The study on the ecological classification of the fiber quality of upland cotton in Hubei Province[J]. Cotton Science, 1993, 5(2): 15-20

[18] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1805-1819  
Yan W K. Optimal use of biplots in analysis of multi-location variety test data[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(11): 1805-1819

[19] Yan W K, Kang M S, Ma B L, et al. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data[J]. Crop Science, 2007, 47(2): 643-655

[20] Yan W K. GGEbiplot — A windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data[J]. Agronomy Journal, 2001, 93(5): 1111-1118

[21] Yan W K, Cornelius P L, Crossa J, et al. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data[J]. Crop Science, 2001, 41(3): 656-663

[22] Yan W K, Hunt L A, Sheng Q L, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot[J]. Crop Science, 2000, 40(3): 597-605

[23] Yan W K. Crop Variety Trials: Data Management and Analysis[M]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2014

[24] Yan W K, Frégeau-Reid J, Pageau D, et al. Genotype-by-environment interaction and trait associations in two genetic populations of oat[J]. Crop Science, 2016, 56(3): 1136-1145

[25] Yan W K. GGE Biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis[J]. Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics, 2011, 65(2): 181-193

[26] Tang Q Y, Zhang C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research[J]. Insect Science, 2013, 20(2): 254-260

[27] 韩慧君. 气候生态因素对棉花产量与纤维品质的影响[J]. 中国农业科学, 1991, 24(5): 23-29  
Han H J. Effects of climatic-ecologic factors on cotton yield and fibre quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1991, 24(5): 23-29

[28] 马淑萍, 蔡派, 熊宗伟, 等. 中国棉花品质现状及其国际地位[J]. 中国棉花, 2002, 29(10): 12-19  
Ma S P, Cai P, Xiong Z W, et al. The current situation and international position of Chinese cotton fiber quality[J]. China Cotton, 2002, 29(10): 12-19

[29] 唐淑荣, 杨伟华. 我国主产棉省纤维品质现状分析与建议[J]. 棉花学报, 2006, 18(6): 386-390  
Tang S R, Yang W H. Status and analysis of cotton fiber quality distribution in China and suggestions[J]. Cotton Science, 2006, 18(6): 386-390

[30] 朱绍琳, 李大庆, 华国雄, 等. 江苏不同生态棉区与棉花纤维品质的研究[J]. 棉花学报, 1991, 1(3): 53-62  
Zhu S L, Li D Q, Hua G X, et al. Study on relationship of cotton fiber quality and environments in different ecological areas in Jiangsu Province[J]. Acta Gossypii Sinica, 1991, 3(1): 53-62